

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. April 2002 (25.04.2002)

PCT

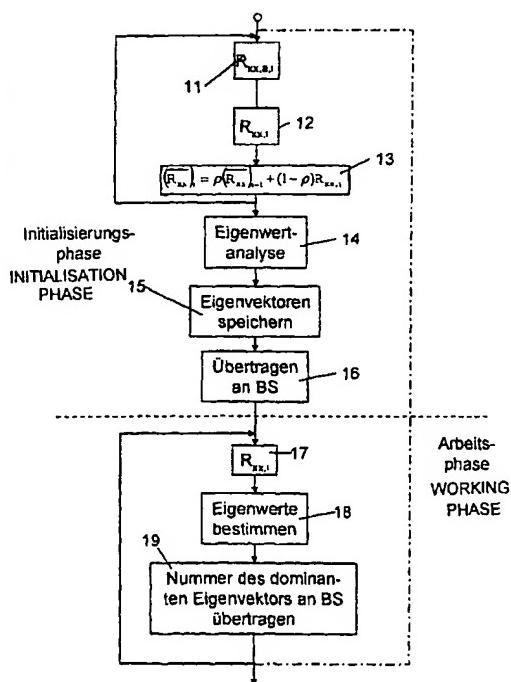
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/33850 A1**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| (51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :          | H04B 7/06  | (72) Erfinder; und  |
| (21) Internationales Aktenzeichen:                               | PCT/DE01/03923   | (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HAARDT, Martin<br>[DE/DE]; Geraer Strasse 59, 98716 Geraberg (DE).   |
| (22) Internationales Anmeldedatum:                               | 12. Oktober 2001 (12.10.2001)  | (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).  |
| (25) Einreichungssprache:  | Deutsch  | (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW. |
| (26) Veröffentlichungssprache:                                   | Deutsch  |   |
| (30) Angaben zur Priorität:                                      | 100 51 133.3 16. Oktober 2000 (16.10.2000) DE                                    |   |
| (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): | SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];<br>Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). |   |

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BEAM-SHAPING METHOD

(54) Bezeichnung: STRAHLFORMUNGSVERFAHREN



(57) Abstract: The invention relates to a method for shaping beams in a radio communication system. The first weighting vectors used for the beam shaping are chosen orthogonal to each other.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Strahlformung in einem Funkkommunikationssystem. Die für die Strahlformung verwendeten ersten Gewichtungsvektoren werden zueinander orthogonal gewählt.

**WO 02/33850 A1**

- 14...EIGENVALUE ANALYSIS  
15...STORAGE OF EIGENVECTORS  
16...TRANSMISSION TO THE BS  
19...TRANSMIT THE NUMBER OF THE  
DOMINANT EIGENVECTOR TO THE BS  
18...DETERMINE EIGENVALUES

BEST AVAILABLE COPY



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)*
- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Beschreibung****Strahlformungsverfahren**

5 Die Erfindung betrifft ein Strahlformungsverfahren.

- Bei den in dieser Anmeldung beschriebenen Ausgestaltungen des Strahlformungsverfahrens werden Kovarianzmatrizen für alle hinreichend starken Taps eines Funksignals einzeln berechnet, 10 Eigenvektoren und Eigenwerte der so erhaltenen Kovarianzmatrizen werden berechnet, und die Eigenvektoren, die den stärksten Eigenwerten entsprechen, werden für die Strahlformung herangezogen.
- 15 Die Zahl der Eigenvektoren, die bei der Strahlformung praktisch einsetzbar ist, ist begrenzt. Die Gründe dafür sind unterschiedlicher Art.

Bei einem Verfahren wie mit Bezug auf Fig. 4 der Patentanmeldung DE 10032426.6 beschrieben liegt ein Problem in der beschränkten Bandbreite, die für die Rückübertragung von die Empfangssituation beschreibender Information von der Teilnehmerstation an die Basisstation zur Verfügung steht, und die auf die Übertragung von Komponenten der gemessenen, über längere Zeitspannen gültigen bzw. brauchbaren Eigenvektoren einerseits und einer gewünschten kurzfristigen Gewichtung dieser Eigenvektoren im Downlink-Signal andererseits aufgeteilt werden muß. Dies zwingt dazu, sich im Interesse einer schnellen Aktualisierung der Gewichtung auf die Übertragung nur der 25 wichtigsten Eigenvektoren zu beschränken.

Bei dem mit Bezug auf Fig. 5 der Patentanmeldung DE 10032426.6 beschrieben Verfahren setzt die Basisstation zum Ausstrahlen eine Linearkombination von Eigenvektoren als Gewichtungsvektoren ein. Je größer die Zahl der verwendeten Eigenvektoren ist, um so größer ist die Zahl der mit dem Funk-signal versorgten Ausbreitungswege, sowohl zu der Teilnehmer- 35

station, für die das Signal bestimmt ist, als auch zu anderen, für die das Signal eine Störung darstellt. Um diese Störungen in Grenzen zu halten, muß die Zahl der in die Linearkombination eingehenden Eigenvektoren begrenzt werden.

5

Aufgabe der Erfindung ist, ein Strahlformungsverfahren anzugeben, bei dem auch bei einer beschränkten Zahl von gleichzeitig berücksichtigten Eigenvektoren eine höchstmögliche Sicherheit gegen Fading-Ausfälle erreicht wird.

10

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

15

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß die Begrenzung der Zahl von Eigenvektoren unter bestimmten Ausbreitungsbedingungen zu Problemen (Canyon-Effekt) führen kann, wie Fig. 1 zeigt. Diese Figur veranschaulicht die Übertragungsverhältnisse, wie sie z. B. in den Straßenschluchten einer Großstadt leicht auftreten können. Ein direkter Übertragungsweg (Line-of-sight-Weg) zwischen der Basisstation BS und einer Teilnehmerstation MS existiert nicht. Es gibt drei indirekte Übertragungswege M1, M2, M3, von denen die Übertragungswege M1, M2 teilweise deckungsgleich sind.

25

Die Basisstation BS hat eine adaptive Antenne mit M Elementen, und es wird angenommen, daß die Zahl von Eigenvektoren, die die Basisstation BS bei der Strahlformung berücksichtigt, auf zwei begrenzt ist.

30

Wenn die Basisstation BS das mit Bezug auf Fig. 5 der Patentanmeldung 10032426.6 beschriebene Verfahren ausführt, so besteht die Möglichkeit, daß den Übertragungswegen M1, M2 jeweils die stärksten Eigenwerte entsprechen, und daß folglich die Basisstation bei der Strahlformung eine Linearkombination der diesen zwei Ausbreitungswegen entsprechenden Eigenvektoren verwendet. Sie erzeugt in einem solchen Fall zwei Strahlen, die von der Basisstation aus in die gleiche Richtung

laufend. Durch die teilweise Deckungsgleichheit der Ausbreitungswege ergibt sich zwangsläufig eine Korrelation zwischen ihnen, d. h. wenn einer von ihnen eine Auslöschung erfährt, so ist die Wahrscheinlichkeit einer Auslöschung für den zweiten, und damit die Wahrscheinlichkeit, daß keine Kommunikation mehr zwischen Basisstation und Teilnehmerstation möglich ist, erhöht.

Ein ähnliches Problem besteht auch bei dem mit Bezug auf Fig. 10 4 der Patentanmeldung 10032426.6 beschriebenen Verfahren. Hier werden die den Ausbreitungs wegen M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> entsprechenden Eigenvektoren nicht gleichzeitig, sondern nacheinander verwendet. Aber auch hier ist die Gefahr, daß beide Ausbreitungswege M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> gleichzeitig von einer Auslöschung betroffen 15 sind, höher als bei zwei nicht überlappenden Ausbreitungswege wie etwa M<sub>1</sub> und M<sub>3</sub>.

Um dieses Problem zu beseitigen, wird ein Verfahren zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem vorgeschlagen, wobei das Funk-Kommunikationssystem Teilnehmerstationen 20 und eine Basisstation, die eine Antenneneinrichtung mit mehreren Antennenelementen aufweist, die ein Downlink-Signal jeweils gewichtet mit Koeffizienten w<sub>i</sub>, i=1, ..., M eines aktuellen Gewichtungsvektors w abstrahlen, umfaßt, bei dem in einer Initialisierungsphase eine Mehrzahl von ersten Gewichtungsvektoren w<sup>(1)</sup> ermittelt werden, und in einer Arbeitsphase 25 der für die Ausstrahlung eines Zeitschlitzes des für die Teilnehmerstation (MSk) bestimmten Downlink-Signals verwendete aktuelle Gewichtungsvektor w anhand der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zyklisch neu festgelegt wird, wobei die 30 Ermittlung der ersten Gewichtungsvektoren w<sup>(1)</sup> unter der Maßgabe erfolgt, daß sie alle zueinander orthogonal sind.

Eine besonders einfache Möglichkeit, die Orthogonalität der 35 ermittelten ersten Gewichtungsvektoren sicherzustellen ist, eine einzige erste räumliche Kovarianzmatrix aufzustellen, die sich aus Beiträgen von für die einzelnen Taps des Uplink-

oder Downlink-Signals ermittelten kurzfristigen Kovarianzmatrizen zusammensetzt, und die ersten Gewichtungsvektoren unter deren Eigenvektoren auszuwählen. Insbesondere kann diese erste Kovarianzmatrix durch eine Mittelwertbildung über die 5 für die einzelnen Taps erhaltenen kurzfristigen Kovarianzmatrizen gewonnen werden. Da diese erste räumliche Kovarianz nur langsam veränderlich ist, kann sie im Gegensatz zu den kurzfristigen Kovarianzmatrizen auch als „langfristige“ Kovarianzmatrix bezeichnet werden. Da die Eigenvektoren einer Kovarianzmatrix orthogonal sind, ergibt sich somit bei Berücksichtigung 10 einer einzigen ersten räumlichen Kovarianzmatrix die gewünschte Orthogonalität von selbst.

Zweckmäßigerweise werden die kurzfristigen Kovarianzmatrizen 15 für die Bestimmung der ersten räumlichen Kovarianzmatrix überdies zeitlich gemittelt. So können die kurzfristigen Kovarianzmatrizen gleichzeitig als zweite räumliche Kovarianzmatrizen im Sinne der Patentanmeldung 10032426.6 eingesetzt werden.

20 Ein Ausführungsbeispiel wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine typische Anwendungsumgebung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

25 Fig. 2 ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens nach einer ersten Ausgestaltung; und

30 Fig. 3 ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens nach einer zweiten Ausgestaltung.

Aufbau einer Basisstation und einer Teilnehmerstation, die geeignet sind, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen, 35 sind in der Patentanmeldung 10032426.6 mit Bezug auf Figs. 2 und 3 beschrieben worden; die Beschreibung wird daher hier nicht wiederholt.

Die erste Ausgestaltung des Verfahrens wird mit Bezug auf Fig. 2 beschrieben.

- 5 In einer Initialisierungsphase ermittelt der Signalprozessor SP der Teilnehmerstation MS in Schritt 11 anhand von in einem i-ten Zeitschlitz des Downlink-Signals übertragenen Trainingssequenzen für jeden Tap des Downlink-Signals einzeln die Impulsantworten eines jeden Antennenelements  $AE_1, \dots, AE_n$ .
- 10 (Dabei ist unter „jedem“ Tap natürlich nicht die Gesamtheit aller Beiträge im empfangenen Signal zu verstehen, die eventuell detektierbar wären, sondern nur alle diejenigen, die der Empfänger der Teilnehmerstation tatsächlich zu erfassen und zu isolieren vermag, oder auch nur diejenigen, die eine
- 15 ausreichende Signalstärke aufweisen, so daß ihre Auswertung die Sicherheit der Symbolschätzung zu verbessern vermag.) Diese Impulsantworten fügt der Signalprozessor SP in der z.B. aus der zitierten DE 198 03 188 bekannten Weise zu räumlichen Kovarianzmatrizen  $R_{xx,a,i}$  zusammen, wobei a einen Index eines
- 20 Taps bezeichnet. Diese räumlichen Kovarianzmatrizen  $R_{xx,a,i}$  werden an eine Recheneinheit RE geliefert.

Die Recheneinheit RE bildet in Schritt 12 einen Mittelwert  $\overline{R}_{xx,i}$  der vom Signalprozessor SP zum i-ten Zeitschlitz geferteten Kovarianzmatrizen  $R_{xx,a,i}$ , indem sie sie addiert und das Ergebnis durch die Zahl der Taps dividiert. (Da es für die Zwecke des Verfahrens lediglich auf die Proportionen der Koeffizienten dieser gemittelten Matrix ankommt, kann der Divisionsschritt auch entfallen.) Die so erhaltene Matrix wird als kurzfristige oder zweite räumliche Kovarianzmatrix bezeichnet.

In Schritt 13 bildet die Recheneinheit RE eine Folge von zeitlichen Mittelwerten  $\overline{\overline{R}_{xx}}$  der kurzfristigen Kovarianzmatrizen gemäß folgender Formel:

$$\overline{(\overline{R}_{xx})}_i = \rho \overline{(\overline{R}_{xx})}_{i-1} + (1 - \rho) R_{xx,i} \quad \text{für alle } i > 1,$$

$$\left( \overline{R_{xx}} \right)_0 = R_{xx,1} ,$$

- wobei  $(\overline{R_{xx}})_i$  jeweils die i-te gemittelte Kovarianzmatrix bezeichnet,  $R_{xx,i}$  die i-te aktuelle Kovarianzmatrix bezeichnet und  $\rho$  ein Maß für die Zeitkonstante der Mittelwertbildung mit einem Wert zwischen 0 und 1 darstellt.

Die Schritte 11 bis 13 werden eine vorgegebene Zahl  $z$  von Malen wiederholt, um eine zeitliche Mittelung über einen aussagekräftigen Zeitraum zu erhalten, in dem sich durch schnelles Fading bedingte Schwankungen der Kanalabschätzung im wesentlichen herausmitteln. Dieser Zeitraum kann in der Größenordnung von Minuten liegen. Dabei ist  $\rho$  so gewählt, daß der Beitrag von  $R_{xx,j}$  zum Mittelwert  $(\overline{R_{xx}})_z$  gegenüber dem von  $R_{xx,z}$  nicht vernachlässigbar ist. Der Mittelwert  $(\overline{R_{xx}})_z$  wird im folgenden als erste oder langfristige räumliche Kovarianzmatrix bezeichnet.

Eine Analyse der Eigenwerte und Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix  $(\overline{R_{xx}})_z$  schließt sich an (Schritt 14).

Die Analyse kann sich auf sämtliche Eigenvektoren und -werte der Kovarianzmatrix  $(\overline{R_{xx}})_z$  erstrecken, in dem hier betrachteten Fall ermittelt eine Kontrolleinheit KE unter den bei der Analyse gefundenen Eigenvektoren eine begrenzte Zahl, z.B. 2 oder 4, die die Eigenwerte mit den höchsten Beträgen aufweisen, und die folglich den Übertragungswegen mit der geringsten Dämpfung entsprechen. Alternativ kann ein Verfahren zur Eigenvektoranalyse eingesetzt werden, das die Eigenvektoren der ersten räumlichen Kovarianzmatrix  $(\overline{R_{xx}})_z$  in der Reihenfolge abnehmender Beträge der Eigenwerte liefert, und das abgebrochen wird, wenn die begrenzte Zahl von Eigenvektoren ermittelt ist. Informationstheoretische Verfahren, die zum Bestimmen der dominanten Eigenvektoren einer Kovarianzmatrix verwendbar sind, sind z. B. in dem Aufsatz von M. Wax und T. Kailath, „Detection of signals by information theoretic criteria“ beschrieben.

Die Koeffizienten der ermittelten Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  werden an der Teilnehmerstation MS gespeichert (Schritt 15) und mit dem von der Sprachverarbeitungseinheit SSV kommenden Nutzdatenstrom kombiniert und über die Antenne an die Basisstation übertragen (Schritt 16), um dort als erste Gewichtungsvektoren für die Strahlformung eingesetzt zu werden. Die Basisstation empfängt sie und speichert sie in ihrer Speichereinheit SE zur Verwendung als Koeffizienten für die Multiplizierer M des Strahlformungsnetzes.

Da diese Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  jeweils aus einer einzigen zweiten Kovarianzmatrix erhalten wurden, sind sie orthogonal; die ihnen entsprechenden Übertragungswege haben unterschiedliche Eintreffrichtungen an der Basisstation BS und sind unkorreliert.

Nun geht die Recheneinheit RE in eine Arbeitsphase über, in der sie aus den vom Signalprozessor SP für jeden Tap und jeden Zeitschlitz gelieferten Kovarianzmatrizen weiterhin wie oben beschrieben kurzfristige Kovarianzmatrizen bildet (Schritt 17), und diese mit jedem der in der Speichereinheit gespeicherten, an die Basisstation übertragenen Eigenvektoren multipliziert, um die Eigenwerte dieser Vektoren für die betreffende kurzfristige Kovarianzmatrix  $R_{x\cdot\cdot,i}$  zu ermitteln (Schritt 18). Die Nummer des Eigenvektors, der den größeren Eigenwert aufweist, wird im Schritt 19 über die Kontrolleinheit KE an die Basisstation übermittelt. Dieser Eigenvektor wird als dominierende Eigenvektor bezeichnet, denn er liefert den stärksten und in der Regel besten Beitrag zum Empfangssignal. Wenn lediglich zwei ermittelte Eigenvektoren im Speicherelement SE gespeichert sind und an die Basisstation übertragen worden sind, genügt ein Bit, um den Eigenvektor mit dem jeweils größeren Eigenwert zu bezeichnen. Folglich kann, wenn pro Zeitschlitz ein Bit für die Rückmeldung der Empfangseigenschaften an die Basisstation zur Verfügung steht, der von der Basisstation zur Strahlformung verwendete

Vektor in jedem Zeitschlitz aktualisiert und für die Strahlformung im darauffolgenden Zeitschlitz verwendet werden.

- Wenn vier Eigenwerte an die Basisstation übermittelt worden
- 5 sind, sind zwei Bits zur Bezeichnung des jeweils dominierenden Eigenvektors erforderlich. Wenn ein Bit pro Zeitschlitz für die Rückübertragung der Empfangseigenschaften zur Verfügung steht, sind daher zwei Zeitschlitzte erforderlich, um die vollständige Bezeichnung des dominierenden Vektors zu über-
- 10 tragen. Dieser wird folglich für die zwei auf seiner Übertragung folgenden Zeitschlitzte für die Strahlformung genutzt; im Laufe dieser zwei Zeitschlitzte wird die Bezeichnung des anschließend zu verwendenden Eigenvektors übertragen.
- 15 Die Schritte der Arbeitsphase können viele Male zyklisch wiederholt werden, bevor die Initialisierungsphase erneut durchgeführt werden muß, um die Koeffizienten der Eigenvektoren zu aktualisieren.
- 20 Vorzugsweise werden die Schritte beider Phasen zeitlich verschrankt ausgeführt. Dies bedeutet: eine kurzfristige Kovarianzmatrix wird sowohl zur Berechnung einer ersten räumlichen Kovarianzmatrix, die zu einem späteren Zeitpunkt von der Teilnehmerstation MS an die Basisstation übertragen werden
- 25 wird, als auch zur Berechnung der Eigenwerte eingesetzt, anhand derer die Teilnehmerstation unter den aus einer früheren ersten räumlichen Kovarianzmatrix ermittelten und an die Basisstation übermittelten Eigenvektoren den dominierenden auswählt; mit andern Worten: die Schritte 12 und 17 sind ein
- 30 einziger Schritt, dessen Ergebnisse einerseits in den Schritten 13 ff. und andererseits 18 ff. in unterschiedlicher Weise ausgewertet werden.
- 35 Die Übertragung der Eigenvektoren von der Teilnehmerstation an die Basisstation kann in festgelegten, vorgegebenen Zeitabständen erfolgen. Flexibler jedoch ist eine Variante des oben beschriebenen Verfahrens, bei der die Eigenvektoranalyse

an den gemittelten Kovarianzmatrizen  $(\bar{R}_{xx})_i$  in kurzen Zeitabständen, z.B. entsprechend der Halbwertszeit der Mittelung, wiederholt wird, die so erhaltenen Eigenvektoren mit den bisher verwendeten verglichen werden und neue Eigenvektoren an

5 die Basisstation nur dann übertragen werden, wenn die Winkel zwischen bisherigen und neuen Eigenvektoren einen Grenzwert überschreiten.

Wenn zu Beginn einer Übertragungsverbindung zwischen Teilnehmerstation MS und Basisstation BS noch keine gemittelte Kovarianzmatrix  $(\bar{R}_{xx})_i$  zur Verfügung steht, an der eine Eigenwertanalyse vorgenommen werden könnte, so sind dennoch bereits Daten zu übertragen. In dieser frühen Phase der Übertragungsverbindung werden anstelle von ermittelten Eigenvektoren vorab festgelegte erste Gewichtungsvektoren zum Gewichten des Downlink-Signals verwendet. Die Zahl dieser vorab festgelegten ersten Gewichtungsvektoren ist gleich der Zahl der später ermittelten Eigenvektoren und nicht größer als die Zahl der Antennenelemente der Basisstation. Die vorab festgelegten ersten Gewichtungsvektoren bilden einen orthonormales System, insbesondere kann es sich um einen Satz von Vektoren der Form  $(1, 0, 0, \dots)$ ,  $(0, 1, 0, \dots)$ ,  $(0, 0, 1, 0, \dots)$  handeln. Eine solche Wahl der vorab festgelegten Gewichtungsvektoren bedeutet, daß jeder vorab festgelegte Gewichtungsvektor der Beaufschlagung eines einzigen Antennenelementes mit dem Downlink-Signal entspricht. Durch Übertragen einer Bezeichnung eines Gewichtungsvektors an die Basisstation hat die Teilnehmerstation somit die Möglichkeit, zu bestimmen, welches der mehreren Antennenelemente zum Ausstrahlen des für sie bestimmten Downlink-Signals verwendet wird.

Eine zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mit Bezug auf Figur 3 beschrieben. Diese Ausgestaltung eignet sich, wie im folgenden deutlich wird, besonders zur

35 Anwendung bei einem Funk-Kommunikationssystem, bei dem Uplink und Downlink jeweils die gleiche Frequenz verwenden, d.h. in einem TDD-System. Bei dieser Ausgestaltung werden die ersten

- Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung von einer Teilnehmerstation MS zur Basisstation BS ermittelt. Die Basisstation BS ist zu diesem Zweck wie die Teilnehmerstation im Falle des oben mit Bezug auf Fig. 2 beschriebenen Verfahrens mit einem Signalprozessor SP zum Erzeugen von Kovarianzmatrizen  $R_{xx,a,i}$ , jeweils für einen Tap und einen Zeitschlitz des Uplink-Signals, einer Recheneinheit RE, einem Speicherelement SE etc. ausgestattet.
- 5
- 10 Die vom Signalprozessor SP in Schritt 11 erzeugten räumlichen Kovarianzmatrizen  $R_{xx,a,i}$  werden an die Recheneinheit RE geliefert, die, wie oben mit Bezug auf die erste Ausgestaltung beschrieben, daraus in den Schritten 12, 13 kurzfristige räumliche Kovarianzmatrizen  $R_{xx,i}$  bildet, deren gleitenden Mittelwert bildet und in Schritt 14 eine Eigenwert- und Eigenvektoranalyse an der durch die Mittelung erhaltenen ersten, langfristigen räumlichen Kovarianzmatrix ( $\bar{R}_{xx}$ )<sub>z</sub> vornimmt.
- 15
- 20 Diese Eigenvektoren entsprechen jeweils Übertragungswegen und enthalten die Information über die relativen Phasenlagen des entsprechenden Beitrags des Uplink-Signals an den einzelnen Antennenelementen und damit über die Richtung, aus der der Beitrag empfangen wird. Wenn, wie bei einem TDD-Funk-Kommunikationssystem, die Frequenzen von Uplink und Downlink gleich sind, können die in dem Eigenvektor enthaltenen Phaseninformationen direkt für die Gewichtung des Downlink-Signals genutzt werden. Falls die Frequenzen von Uplink und Downlink unterschiedlich sind, so ist es erforderlich, die in dem Eigenvektor enthaltene Phaseninformation unter Zugrundelegung
- 25
- 30 der Uplink-Frequenz in eine entsprechende Richtung und diese Richtung anhand der Downlink-Frequenz wieder in Phaseninformation umzurechnen, um für die Strahlformung im Downlink geeignete Eigenvektoren zu erhalten.
- 35 Die weiteren Schritte des Verfahrens bis einschließlich Schritt 18 entsprechen wiederum denen der ersten Ausgestaltung, mit dem Unterschied, daß die gesamte Verarbeitung an

der Basisstation BS stattfindet und auf am Uplink-Signal vorgenommenen Messungen basiert, weswegen auch der Übertragungsschritt 16 entfällt.

- 5 Bei einer ersten, einfachen Variante der zweiten Ausgestaltung schließt sich an die Eigenwertbestimmung in Schritt 18 ein Schritt 20 an, in dem ein aktueller Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  berechnet wird, indem eine Linearkombination der gespeicherten Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  gebildet wird, wobei jeder 10 der Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  in die Linearkombination mit einem von seinem in Schritt 18 erhaltenen Eigenwert oder dessen Betrag abhängigen Gewicht eingeht. Eine Normierung der Linearkombination ist möglich. Durch diese Gewichtung bei der Bildung der Linearkombination ist gewährleistet, daß diejenigen 15 Übertragungswege, die kurzfristig die besten Übertragungseigenschaften aufweisen, das von der Basisstation abgestrahlte Downlink-Signal dominieren. Die anderen in den aktuellen Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  eingehenden Eigenvektoren dienen der Absicherung, daß auch in dem Falle, daß der am höchsten 20 gewichtete Übertragungsweg von einem Zeitschlitz auf den nächsten ausfällt, ein brauchbares Signal bei der Teilnehmerstation ankommt.

Falls einer der Übertragungswege zwischen Basisstation und 25 Teilnehmerstation eine Direktverbindung ist, so kann der diesem Übertragungsweg zugeordnete Eigenvektor unmittelbar als aktueller Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  verwendet werden, mit anderen Worten alle anderen Eigenvektoren gehen mit Koeffizienten 0 in die Bildung der Linearkombination ein.

- 30 Einer Weiterentwicklung der zweiten Ausgestaltung zufolge kann am Downlink-Signal eine Space-Time-Block-Codierung durchgeführt werden, wodurch z. B. aus einer ursprünglichen Sendesymbolfolge zwei zueinander orthogonale Folgen mit gleichem Informationsgehalt erhalten werden. Jede dieser Folgen wird von der Basisstation gewichtet mit einem der Eigenvektoren

ren ausgestrahlt, deren Eigenwerte sich in Schritt 17 als die größten herausgestellt haben.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit Teilnehmerstationen ( $MS_k, MS_1$  bis  $MS_n$ ) und einer Basisstation (BS), die eine Antenneneinrichtung (AE) mit mehreren Antennenelementen ( $A_1$  bis  $A_M$ ) aufweist, die ein Downlinksignal jeweils gewichtet mit Koeffizienten  $w_i$ ,  $i=1, \dots, M$  eines aktuellen Gewichtungsvektors  $w$  abstrahlen, bei dem
  - 5 10 a) in einer Initialisierungsphase eine Mehrzahl von ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(1)}$  ermittelt werden, und
  - b) in einer Arbeitsphase der für die Ausstrahlung eines Zeitschlitzes des für die Teilnehmerstation ( $MS_k$ ) bestimmten Downlinksignals verwendete aktuelle Gewichtungsvektor  $w$  anhand der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zyklisch neu festgelegt wird, wobei die ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(1)}$  zu-15 einander orthogonal gewählt werden.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Downlink-Übertragung ermittelt werden.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung ermittelt werden.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste räumliche Kovarianzmatrix des Downlink- bzw. Uplink-Signals erzeugt wird, und daß die ersten Gewichtungsvektoren unter den Eigenvektoren dieser ersten räumlichen Kovarianzmatrix gewählt werden.
- 35 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Tap des Downlink- bzw. Uplink-Signals kurzfristige Kovarianzmatrizen gebildet werden (11) und die erste

räumliche Kovarianzmatrix durch Mittelung (12) der kurzfristigen Kovarianzmatrizen über alle Taps erhalten wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die 5 kurzfristigen Kovarianzmatrizen ( $\bar{R}_{xx}$ )<sub>1</sub> jeweils aus einer sich über einen Zeitschlitz erstreckenden Messung des Downlink bzw. Uplink-Signals erhalten werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass 10 die erste räumliche Kovarianzmatrix ( $\bar{R}_{xx}$ )<sub>2</sub> eine langfristige Kovarianzmatrix ist, die durch Mittelung der kurzfristigen Kovarianzmatrizen über eine Mehrzahl von Zeitschlitten (13) erhalten wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als erste Gewichtungsvektoren die Eigenvektoren der ersten räumlichen Kovarianzmatrix gewählt werden, deren Eigenwerte die größten Beträge aufweisen (14, 15).
- 20 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zyklisch eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt wird (17), daß Eigenwerte der zweiten räumlichen Kovarianzmatrix für die ersten Eigenvektoren berechnet werden (18), und daß der aktuelle Gewichtungsvektor anhand der Eigenwerte festgelegt wird.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten räumlichen Kovarianzmatrizen mit den kurzfristigen Kovarianzmatrizen identisch sind.
- 30 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der aktuelle Gewichtungsvektor unter den ersten Gewichtungsvektoren ausgewählt wird (19).

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der aktuelle Gewichtungsvektor eine Linearkombination der ersten Gewichtungsvektoren ist (20).

1/3

Fig. 1

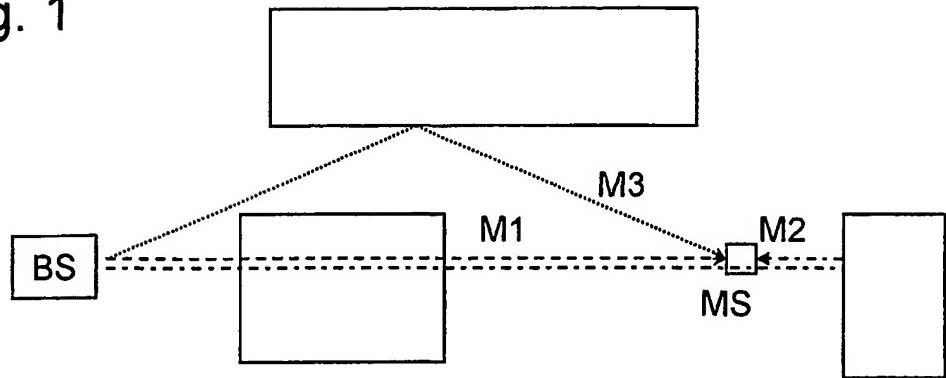


Fig. 2

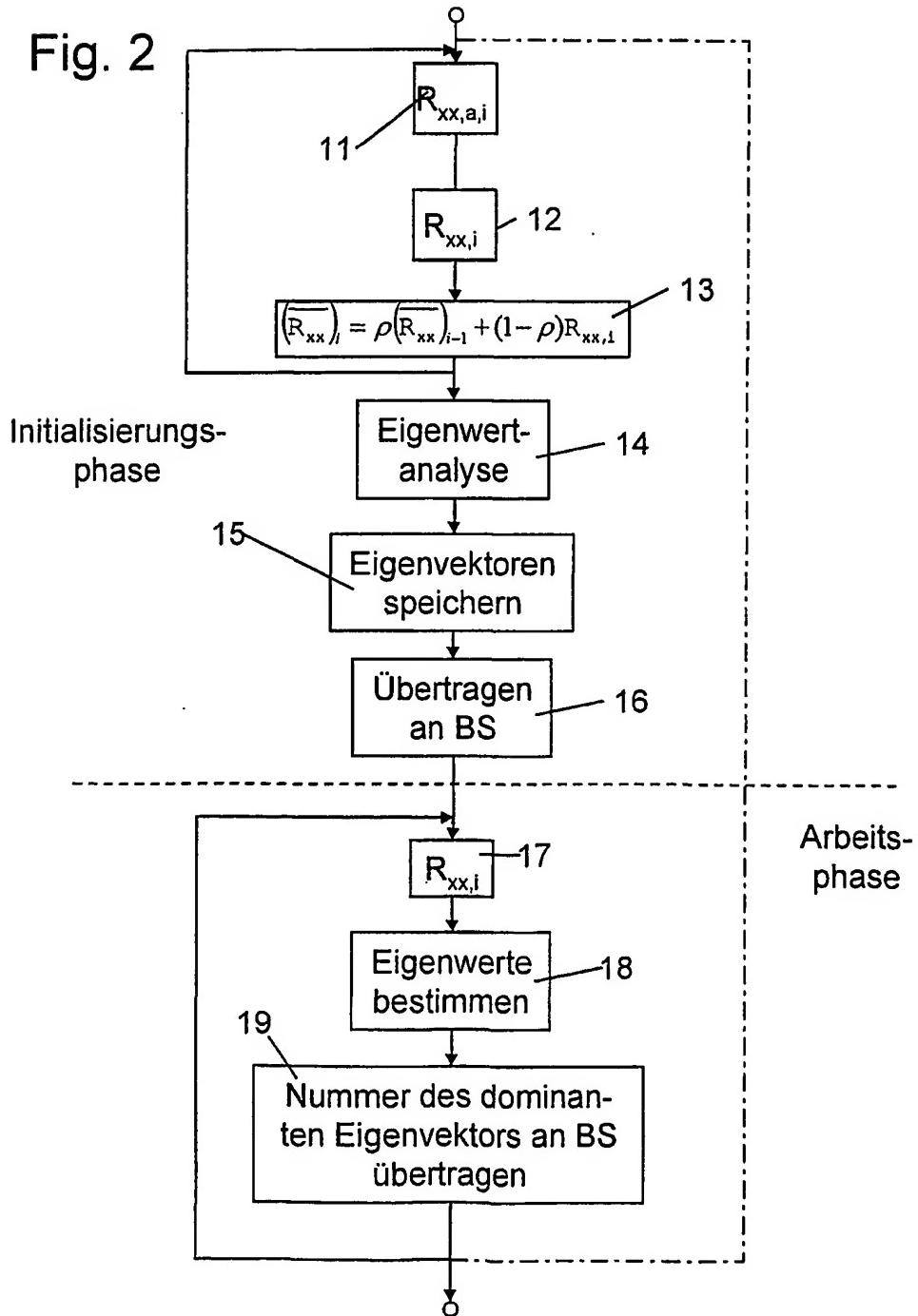
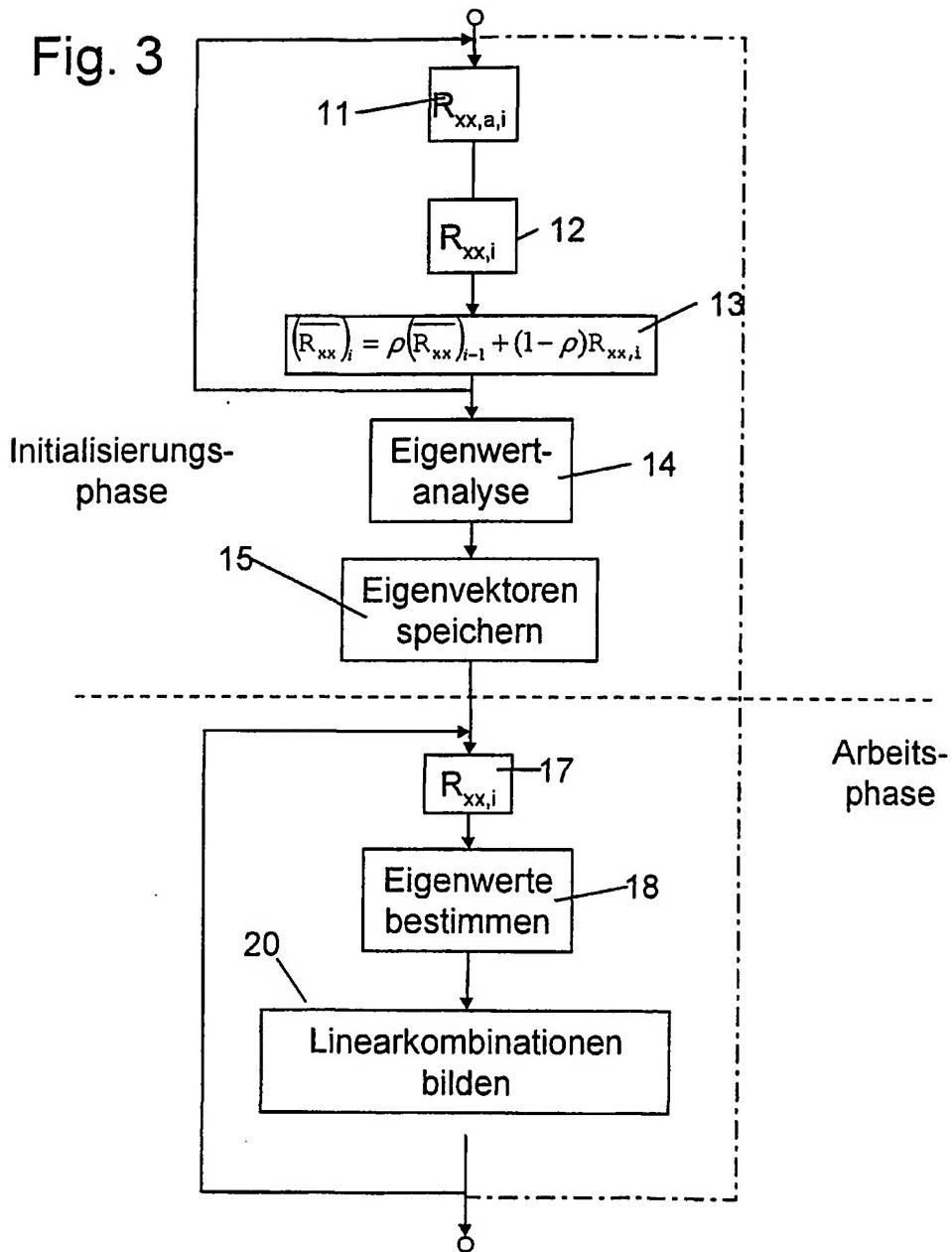


Fig. 3



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte      n Application No  
PCT/DE 01/03923

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H04B7/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 886 988 A (OTTERSTEN BJOERN E ET AL) 23 March 1999 (1999-03-23) column 5, line 3 - line 39 column 8, line 67 -column 9, line 22 column 9, line 65 -column 11, line 12 figures 1,3,4 -----	1
A	DE 198 03 188 A (SIEMENS AG) 29 July 1999 (1999-07-29) * Zusammenfassung * page 2, line 43 -page 3, line 25 page 5, line 37 -page 6, line 8 claim 1; figure 6 -----	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents.

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

4 April 2002

Date of mailing of the International search report

10/04/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

López Márquez, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No  
PCT/DE 01/03923

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5886988	A	23-03-1999	US AU BR EP JP WO AU BR CN EP JP WO	5828658 A 5714898 A 9714121 A 0956716 A1 2001507889 T 9830047 A1 5086498 A 9712643 A 1234947 A 0932986 A1 2001506431 T 9818272 A1	27-10-1998 31-07-1998 29-02-2000 17-11-1999 12-06-2001 09-07-1998 15-05-1998 26-10-1999 10-11-1999 04-08-1999 15-05-2001 30-04-1998
DE 19803188	A	29-07-1999	DE CN US	19803188 A1 1233923 A 6317586 B1	29-07-1999 03-11-1999 13-11-2001

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen  
PCT/DE 01/03923

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 H04B7/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBiete**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 7 H04B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 886 988 A (OTTERSTEN BJOERN E ET AL) 23. März 1999 (1999-03-23) Spalte 5, Zeile 3 - Zeile 39 Spalte 8, Zeile 67 - Spalte 9, Zeile 22 Spalte 9, Zeile 65 - Spalte 11, Zeile 12 Abbildungen 1,3,4	1
A	DE 198 03 188 A (SIEMENS AG) 29. Juli 1999 (1999-07-29) * Zusammenfassung * Seite 2, Zeile 43 - Seite 3, Zeile 25 Seite 5, Zeile 37 - Seite 6, Zeile 8 Anspruch 1; Abbildung 6	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

'A' Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

'E' älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

'L' Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

'O' Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

'P' Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

'T' Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

'X' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

'Y' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

'&' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

4. April 2002

10/04/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax. (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

López Márquez, T

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inle	als Aktenzeichen
PCT/DE 01/03923	

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5886988	A	23-03-1999	US	5828658 A		27-10-1998
			AU	5714898 A		31-07-1998
			BR	9714121 A		29-02-2000
			EP	0956716 A1		17-11-1999
			JP	2001507889 T		12-06-2001
			WO	9830047 A1		09-07-1998
			AU	5086498 A		15-05-1998
			BR	9712643 A		26-10-1999
			CN	1234947 A		10-11-1999
			EP	0932986 A1		04-08-1999
			JP	2001506431 T		15-05-2001
			WO	9818272 A1		30-04-1998
DE 19803188	A	29-07-1999	DE	19803188 A1		29-07-1999
			CN	1233923 A		03-11-1999
			US	6317586 B1		13-11-2001